

S.N. KRIVOSHAPKO¹, CHRISTIAN A. BOCK HYENG², GIL-OULBE MATHIEU¹

¹Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

²North Carolina Agricultural and Technical State University, Greensboro, USA

STAGES AND ARCHITECTURAL STYLES IN DESIGN AND BUILDING OF SHELLS AND SHELL STRUCTURES

Abstract. *In a paper, architectural styles, constructive solutions, information on the history of appearance of structural building materials are briefly set forth and the stages of passion of thin-walled space large-span erections are analyzed. Particular attention is given to establishment of the exact dates in the chronology of appearance of styles, constructive solutions, and in the dates of erection of the first shells of corresponding styles and their authors. Elicit reasons of destructions of some well-known space structures are described and the influence of these destructions and damages for the subsequent designing and building of analogous type is analyzed. It is adduced, in general, positive views of noted architects on the role of shell structures in industrial, public, and civil building at present time. On the basis of the manuscripts published in specialized editions, varieties of points of view of architects to designing space structures are characterized. It was shown that interest of designers and architects in designing of shells in the form of analytically non-given surfaces, polyhedrons, and hipped plate structures is intensively extending. At present, bar metal architecture obtained subsequent development and came to be competitor for reinforcement concrete. In the XXI century, steel net and structural shells are the main means of forming vanguard buildings. Now, architects and structural engineers have wide potential in the selection of form, building material, methods of strength analysis, constructive solutions, styles, and examples of application of large-span thin-walled shell structures. All conclusions of the present work are corroborated by the results of researches containing in 54 references.*

Keywords: *large-span spatial erection, shell, grid system, architectural style, structural building materials, analytical surfaces in architecture, chronology of architectural styles.*

С.Н. КРИВОШАПКО¹, КРИСТИАН А. БОК Х.², ЖИЛЬ-УЛБЕ МАТЬЕ¹

¹Инженерная академия ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия

²Сельскохозяйственный и технический государственный университет Северной Каролины, Гринсборо, США

ЭТАПЫ И АРХИТЕКТУРНЫЕ СТИЛИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБОЛОЧЕК И ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. *В статье кратко изложены архитектурные стили, конструктивные решения, сведения об истории появления конструкционных строительных материалов и проанализированы этапы увлечения тонкостенными пространственными большепролетными сооружениями. Особое внимание уделено установлению точных дат в хронологии появления стилей, конструктивных решений и появлению первых сооружений соответствующих стилей и их авторов. Описаны выявленные причины разрушения некоторых знаковых пространственных сооружений и как эти аварии и разрушения повлияли на дальнейшее проектирование и строительство сооружений аналогичного типа. Приведены, в основном, положительные высказывания известных архитекторов о месте оболочечных сооружений в промышленном, гражданском и жилищном строительстве в настоящее время. На основании опубликованных в специализированных изданиях материалов охарактеризованы разновидности подходов архитекторов к проектированию пространственных сооружений. Показано усиление интереса дизайнеров и архитекторов к проектированию оболочек, очерченных по аналитически задаваемым поверхностям и в форме многогранников и складок. Установлено, что в наше время архитектура из стержневого металла получила свое дальнейшее развитие и стала*

конкурентом железобетона. В XXI веке стальные сетчатые и структурные оболочки стали одним из главных средств формообразования авангардных зданий. Сейчас у архитектора и инженера-проектировщика имеется большой потенциал в выборе формы, материала, методов расчета, конструктивных решений, стилей и примеров применения большепролетных тонкостенных оболочечных конструкций.

Ключевые слова: большепролетные пространственные сооружения, оболочки, архитектурные стили, конструкционные строительные материалы, аналитические поверхности в архитектуре, хронология архитектурных стилей.

REFERENCES

1. Kas'yanov N.V. To the problem of the evolution of architectural spatial forms in the context of scientific and technological achievements. *Academia. Architecture and Construction*. 2019. № 3. Pp. 34-43 [doi:10.22337/2077-9038-2019-3-34-43] (rus).
2. Bratukhin A.G., Sirotkin O.S., Sabodash P.F., Egorov V.N. *Materiali Buduschego i ih Udi vitelnie Svoistva* [Materials of the Future and their Properties]. Moscow: «Mashinostroenie», 1995. 128 p. [ISBN 5-217-02739-8] (rus).
3. Kottas Dimitris. *Architecture and Construction in Plastic*. Links International, 2012. 240 p.
4. Krivoschapko S.N., Pyatikrestovskiy K.P. On history of building of wooden shells and their opportunities at present and in the future. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2014. № 1. Pp. 3-18 (rus).
5. Krivoschapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 2. Constructive building materials. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. № 4. Pp. 110-119 [doi:10.22337/2077-9038-2021-4-110-119].
6. Krivoschapko S.N., Galishnikova V.V. *Arhitekturno-Stroitelnie Konstruktzii* [Architectural-and-Building Structures]. Moscow: Izd-vo "YuRAIT", 2022. 476 p. [ISBN 978-5-9916-4821-9].
7. Antuña Bernardo, Joaquín. The Evolution of the work of Eduardo Torroja: shell roofs with and without reinforcement rings. In: *"International Congress on Construction History"*, 2006, Cambridge. Pp. 179-194 [ISBN 0-7017-0203-6].
8. Hines E.M., Billington D.P. Anton Tedesko and the introduction of thin shell concrete roofs in the United States. *Journal of Structural Engineering*. 2004. November. Pp. 1639-1650.
9. Massimiliano Savorra, Giovanni Fabbrocino. Félix Candela between philosophy and engineering: the meaning of shape. Conference: *Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges*. July 2013. Pp.253-260 [doi:10.1201/b15267-33].
10. Krivoschapko S.N. *The History of Architecture of Spatial Structures and Shells with Elements of Analysis*. Moscow: Izd-vo RUDN, 2014. 104 p. [eLIBRARY ID: 24769307; ISBN: 978-5-209-05970-7] (rus).
11. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., and Tripeny P. Special structures. Past, present, and future. *Journal of Structural Engineering*. June 2002. Pp. 691-701 [doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:6(691)].
12. Scheerer, Silke; Chudoba, Rostislav; Garibaldi, Maria Patricia; Curbach, Manfred. Shells made of textile reinforced concrete – Applications in Germany. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*. 2017. Vol. 58. No. 1. March n. 191. Pp. 79-93(15) [doi:https://doi.org/10.20898/j.iass.2017.191.846].
13. Sylwester Kobiela, Zenon Zamiar. Oval concrete domes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2017. 17 (3). Pp. 486 – 501 [https://doi.org/10.1016/j.acme.2016.11.009].
14. Grinko E.A. Drop-shaped shells. *Stroitel'naya Mehanika i Raschet Sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2019. № 6 (287). Pp. 50-56 [eLIBRARY ID: 41468543] (rus).
15. Zordan Luigi, Morganti Renato. Large roofs, large spaces. Suspended cable roofing in Italy 1948-1970. *Proc. of the First Int. Congress on Construction History*, Madrid, 20th-24th January 2003. Pp. 2139-2148.
16. Harris James B., Pui-K Li Kevin. *Masted Structures in Architecture*. Taylor & Francis, 1996. 160 p.
17. Krivoschapko S.N. Cable-stayed structures for public and industrial buildings. *Building and Reconstruction*. 2019. № 1 (81). Pp. 23-47 [doi:10.33979/2073-7416-2019-81-1-23-47].
18. Meek John L., Xia Xiaoyan. Computer shape finding of form structures. *Int. Journal of Space Structures*. 1999. Vol. 14, No 1. Pp. 35-54.
19. Ereemeev P.G. Metal structures of roofs of unique large-span buildings. *Industrial and Civil Engineering*. 2007. № 3. Pp. 19-21 (rus).
20. Saman Siavashi, Mahsa Rostami. Study of the concept of cable structures and structural behavior in wide span system. *International Conference on Research in Science and Technology*. 14 December 2015. Kuala Lumpur – Malaysia. 23 p.
21. Schlaich J., Bergermann R., Sobek W. Membranes. *Ing. Civ.* 1990. № 75. Pp. 33-34, 37-44, 45-50.
22. Ereemeev P.G., Kiselev D.B. Modern large-span complex spatial structures. *Prostranstv. Konstruktzii Zdanij i Sooruzheniy (Issledovanie, Raschet, Proektirovanie, Primenenie)*: Sb. statey. 2004. Vyp. 9. Moscow: «Devyatka Print». Pp. 159-166 [ISBN 5-9800-74-004-X] (rus).
23. Ermolov V.V., Bird W.W., Bubner U. et. *Pnevmaticheskie Stroitelnie Konstruktzii* [Pneumatic Building Structures]. Moscow: Stroyizdat, 1983. 439 p. (rus).

24. Jens G. Pohl. *Multi-Story Air-Supported and Fluid-Inflated Building Structures – Revised Edition: Concept, Design Principles, and Prototypes*. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California: 2014. 406 p.
25. Krivoschapko S.N. Tent architecture. *Building and Reconstruction*. 2015. № 3(59). Pp. 100-109 (rus).
26. Myskova O.V., Kazus I.A. Tent structures in architecture of soviet vanguard of 1920th. *Tehnologii Stroitelstva*. 2003. № 1. Pp. 134-137 (rus).
27. Meyer Christian, Sheer Michael H. Do concrete shells deserve another look? *Concrete International*. 2005. October. Pp. 43-50.
28. Krivoschapko S.N. The types of failures and collapses of spatial structures and shells. *Building and Reconstruction*. 2015. № 1(57). Pp. 22-32 (rus).
29. Godoy L.A., Lopez-Bobonis S. On the collapse of a reinforced concrete digester tank. *Oxford: Thin-Walled Structures*. 2001. Pp. 669-676 [doi:10.1016/B978-008043955-6/50074-4].
30. Călbureanu Popescu, Mădălina Xenia. Aspects about the influence of the different factors in famous collapse of roof concrete structures. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*. 2017. Vol. 2, Iss.1. Pp. 121-136.
31. Krasic Sonja. *Geometrijske Površni u Arhitekturi*. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu, 2012. 238 p. [ISBN 978-86-88601-02-3]
32. Mamieva I.A., Gbaguidi-Aisse G.L. Influence of the geometrical researches of rare type surfaces on design of new and unique structures. *Building and Reconstruction*. 2019. № 5(85). Pp. 23-34 [doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-23-34].
33. Krivoschapko S.N. Shells and rod structures in the form of analytically non-given surfaces in modern architecture. *Building and Reconstruction*. 2020. № 3. Pp. 20-30 [doi:10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30] (rus).
34. Kotnik Toni, Schwartz Joseph. The architecture of Heinz Isler. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*. 2011. Vol. 52. No 3. Pp. 185-190 [ISSN: 1028-365X].
35. Glaeser Georg, Gruber Franz. Developable surfaces in contemporary architecture. *Journal of Mathematics and the Arts*. March 2007. Vol.1, Iss. 1. Pp. 59-71.
36. Hyeng Christian A. Bock, Yamb E.B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics. *International Journal of Modern Engineering Researches*. 2012. Vol. 2. Iss. 3. Pp. 799-806.
37. Gil-oulbe Mathieu. Reserve of analytical surfaces for architecture and construction. *Building and Reconstruction*. 2021. № 6 (98). Pp. 63-72 [doi:10.33979/2073-7416-2021-98-6-63-72].
38. Bondarenko I.A. On the appropriateness and moderation of architectural innovation. *Academia. Arkhitektura i Stroitel'stvo [Academia. Architecture and Construction]*, 2020. № 1. Pp. 13-18 [http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/185] (rus).
39. Mamieva I.A. Analytical surfaces for children playgrounds. *Biosfernaya Sovmestimost': Chelovek, Region, Tekhnologii [Biosphere Compatibility: Human, Region, Technologies]*. 2021. № 1. Pp. 92-100 [doi:10.21869/2311-1518-2021-33-1-92-100] (rus).
40. Krivoschapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 1. Subtypes and directions. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. № 3. Pp. 125-134 [doi:10.22337/2077-9038-2021-3-125-134] (rus).
41. Mamieva I.A. Analytical surfaces for parametrical architecture in contemporary buildings and structures. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No 1. Pp. 150-165 [http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/201] (rus).
42. Heidari A., Sahebzadeh S., Sadeghfard M., B. Erfanian Taghvaei. Parametric architecture in its second phase of evolution. *Journal of Building Performance*. 2018. Vol. 9. Iss. 1. Pp. 13-20 [ISSN: 2180-2106; http://spaj.ukm.my/jsb/index.php/jbp/index].
43. Pottmann H., Eigensatz M., Vaxman A., Wallner J. Architectural Geometry. *Computers & Graphics*. 2015. 47. April. Pp. 145-164 [https://doi.org/10.1016/j.cag.2014.11.002].
44. Shelden Dennis Robert. Digital surface representation and the constructability of Gehry's architecture. Thesis (Ph.D.). Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture, 2002. 340 p. [URI http://hdl.handle.net/1721.1/16899].
45. Akulova O.A., Kitaevskiy E.V., Nasaruk K.R. Peculiarities of modeling bionic geometrical forms. *Innovatziionnie Tehnologii v Inzhenernoy Grafike: Problems and Perspectives*. Sb. Tr. Mezhd. Nauchno-Praktich. Konfer. Novosibirski y Gos. Archit.-Stoit. Univ. (Sibstrin); Brestsk. Gos. Tehn. Univ. Novosibirsk: 2019. Pp. 7-12 [ISBN 978-5-7795-0884-1] (rus).
46. Umorina Z. Application of bionic architecture methods as future-oriented approach of modern architecture development in Russia. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*. 2019. 687 055065. 6 p. [doi:10.1088/1757-899X/687/5/055065].
47. Pakowska Marta. Parametric, generative, evolutionary, organic and bionic architecture – A new look at an old problem. *Architecture et Artibus*. 2014. № 1. Pp. 42-45.
48. Kurbatov Yu.I. Architecture in context of environment. *Stroitel'stvo i Arkhitektura Leningrada*. 1977. № 4. Pp. 28-32 (rus).
49. Zvi Hecker. The cube and the dodecahedron in my polyhedral architecture. *Leonardo*. 1980. Vol. 13. Pp. 272-275.
50. Krivoschapko S.N. Polyhedra and quasi- polyhedra in architecture of civil and industrial erection. *Building and Reconstruction*. 2020. № 4 (90). Pp. 48-64 [doi:10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64].

51. Wong, Yunn Chii. *The Geodesic Works of Richard Buckminster Fuller, 1948–1968* (The Universe as a Home of Man), PhD thesis, Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, 1999.
52. Bykov Oleksiy, Gubkina Ievgeniia. Soviet Modernism. Brutalism. Post-Modernism Buildings and Structures in Ukraine 1955–1991. DOM Publishers. July 1, 2019. 250 p. [ISBN 978-3-86922-706-1].
53. Lytkin K.A. Architectural elements noospheric. *Architektura i Stroitelstvo Rossii*. 2013. № 1. Pp. 30-39 (rus).
54. Holgate Alan. Aesthetics of thin-walled structures. *Thin-Walled Structures*. 1990. 9.№ 1-4. Pp. 437-457.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касьянов Н.В. К проблеме эволюции пространственных форм архитектуры в контексте научно-технологических достижений // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 3. С. 34-43 [doi:10.22337/2077-9038-2019-3-34-43].
2. Братухин А.Г., Сироткин О.С., Сабодаш П.Ф., Егоров В.Н. *Материалы будущего и их удивительные свойства*. М.: «Машиностроение», 1995. 128 с. [ISBN 5-217-02739-8].
3. Kottas Dimitris. *Architecture and Construction in Plastic*. Links International. 2012. 240 p.
4. Кривошапко С.Н., Пятикрестовский К.П. Из истории строительства деревянных оболочек и их возможности в настоящем и будущем // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2014. № 1. С. 3-18.
5. Krivoshapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 2. Constructive building materials. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. № 4. Pp. 110-119. [doi:10.22337/2077-9038-2021-4-110-119].
6. Кривошапко С.Н., Галишникова В.В. *Архитектурно-строительные конструкции: Учебник*. М.: Изд-во «ЮРАЙТ», 2022. 476 p. [ISBN 978-5-9916-4821-9].
7. Antuña Bernardo, Joaquín. The Evolution of the work of Eduardo Torroja: shell roofs with and without reinforcement rings // In: "International Congress on Construction History", 2006. Cambridge. Pp. 179-194 [ISBN 0-7017-0203-6].
8. Hines E.M., Billington D.P. Anton Tedesco and the introduction of thin shell concrete roofs in the United States // *Journal of Structural Engineering*. 2004. November. Pp. 1639-1650.
9. Massimiliano Savorra, Giovanni Fabbrocino. Félix Candela between philosophy and engineering: the meaning of shape // *Conference: Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges*. July 2013. Pp.253-260 [doi:10.1201/b15267-33].
10. Кривошапко С.Н. *История развития архитектуры пространственных структур и оболочек с элементами расчета: Учебно-методический комплекс*. М.: Изд-во РУДН, 2014. 104 с. [eLIBRARY ID: 24769307; ISBN: 978-5-209-05970-7].
11. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., and Tripeny P. Special structures. Past, present, and future // *Journal of Structural Engineering*. June 2002. Pp. 691-701 [doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:6(691)].
12. Scheerer, Silke; Chudoba, Rostislav; Garibaldi, Maria Patricia; Curbach, Manfred. Shells made of textile reinforced concrete – Applications in Germany // *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*. 2017. Vol. 58. No. 1. March n. 191. Pp. 79-93(15) [doi:https://doi.org/10.20898/j.iass.2017.191.846].
13. Sylwester Kobiela, Zenon Zamiar. Oval concrete domes // *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2017. 17 (3). Pp. 486 - 501. [https://doi.org/10.1016/j.acme.2016.11.009].
14. Гринько Е.А. Каплевидные оболочки // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2019. № 6 (287). С. 50-56. [eLIBRARY ID: 41468543].
15. Zordan Luigi, Morganti Renato. Large roofs, large spaces. Suspended cable roofing in Italy 1948-1970 // *Proc. of the First Int. Congress on Construction History, Madrid, 20th-24th January 2003*. Pp. 2139-2148.
16. Harris James B., Pui-K Li Kevin. *Masted Structures in Architecture*. Taylor & Francis, 1996. 160 p.
17. Krivoshapko S.N. Cable-stayed structures for public and industrial buildings // *Building and Reconstruction*. 2019. № 1 (81). Pp. 23-47 [doi:10.33979/2073-7416-2019-81-1-23-47].
18. Meek John L., Xia Xiaoyan. Computer shape finding of form structures // *Int. Journal of Space Structures*. 1999. Vol. 14. No 1. Pp. 35-54.
19. Еремеев П.Г. Металлические конструкции покрытий уникальных большепролетных сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. № 3. С. 19-21.
20. Saman Siavashi, Mahsa Rostami. Study of the concept of cable structures and structural behavior in wide span system // *International Conference on Research in Science and Technology*. 14 December 2015. Kuala Lumpur. Malaysia. 23 p.
21. Schlaich J., Bergermann R., Sobek W. Membranes // *Ing. Civ*. 1990. № 75. Pp. 33-34, 37-44, 45-50.
22. Еремеев П.Г., Киселев Д.Б. *Современные большепролетные комбинированные пространственные конструкции // Пространственные конструкции зданий и сооружений (исследование, расчет, проектирование, применение): Сб. статей. Вып. 9*. М.: ООО «Девятка Принт», 2004. С. 159-166 [ISBN 5-9800-74-004-X].
23. Ермолов В.В., Бэрд У.У., Бубнер У. и др. *Пневматические строительные конструкции*. Под ред. В.В. Ермолова. М.: Стройиздат, 1983. 439 с.

24. Jens G. Pohl. Multi-Story Air-Supported and Fluid-Inflated Building Structures – Revised Edition: Concept, Design Principles, and Prototypes. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California: 2014. 406 p.
25. Кривошапко С.Н. Тентовая архитектура // Строительство и реконструкция. 2015. № 3(59). С. 100-109.
26. Мыскова О.В., Казусь И.А. Тентовые конструкции в архитектуре советского авангарда 1920-х годов // Технологии строительства. 2003. № 1.С. 134-137.
27. Meyer Christian, Sheer Michael H. Do concrete shells deserve another look? // Concrete International. 2005. October. Pp. 43-50.
28. Кривошапко С.Н. Виды аварий и разрушений пространственных структур и оболочек // Строительство и реконструкция. 2015. № 1(57). С. 22-32.
29. Godoy L.A., Lopez-Bobonis S. On the collapse of a reinforced concrete digester tank // Oxford: Thin-Walled Structures. 2001. Pp. 669-676 [doi:10.1016/B978-008043955-6/50074-4].
30. Călbureanu Popescu, Mădălina Xenia. Aspects about the influence of the different factors in famous collapse of roof concrete structures // Journal of Engineering Sciences and Innovation. 2017. Vol. 2, Iss.1. Pp. 121-136.
31. Krasic Sonja. Geometrijske Površni u Arhitekturi. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu, 2012. 238 p. [ISBN 978-86-88601-02-3]
32. Mamieva I.A., Gbaguidi-Aisse G.L. Influence of the geometrical researches of rare type surfaces on design of new and unique structures // Building and Reconstruction. 2019. № 5(85). Pp. 23-34 [doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-23-34].
33. Кривошапко С.Н. Оболочки и стержневые структуры в форме аналитически задаваемых поверхностей в современной архитектуре // Строительство и реконструкция. 2020. № 3. С. 20-30 [doi:10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30].
34. Kotnik Toni, Schwartz Joseph. The architecture of Heinz Isler // Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures. 2011. Vol. 52. No 3. Pp. 185-190 [ISSN: 1028-365X].
35. Glaeser Georg, Gruber Franz. Developable surfaces in contemporary architecture // Journal of Mathematics and the Arts. March 2007. Vol. 1. Iss. 1. Pp. 59-71.
36. Hyeng Christian A. Bock, Yamb E.B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics // International Journal of Modern Engineering Researches. 2012. Vol. 2. Iss. 3. Pp. 799-806.
37. Gil-oulbe Mathieu. Reserve of analytical surfaces for architecture and construction // Building and Reconstruction. 2021. № 6 (98). Pp. 63-72 [doi:10.33979/2073-7416-2021-98-6-63-72].
38. Бондаренко И.А. Об уместности и умеренности архитектурных новаций // Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 1. С. 13-18. [http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/185].
39. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для детских площадок // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии.. 2021. № 1. С. 92-100 [doi:10.21869/2311-1518-2021-33-1-92-100].
40. Кривошапко С.Н., Алборова Л.А., Мамиева И.А. Оболочечные структуры: генезис, материалы и подвиды. Часть 1: Подвиды и направления// Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 3. С. 125-134 [doi:10.22337/2077-9038-2021-3-125-134].
41. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях// Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 1. С. 150-165 [http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/201].
42. Heidari A., Sahebzadeh S., Sadeghfard M., B. Erfanian Taghvaei. Parametric architecture in its second phase of evolution. Journal of Building Performance. 2018. Vol. 9. Iss. 1. Pp. 13-20 [ISSN: 2180-2106; http://spaj.ukm.my/issb/index.php/jbp/index].
43. Pottmann H., Eigensatz M., Vaxman A., & Wallner J. Architectural Geometry. Computers & Graphics. 2015. 47. April. Pp. 145-164 [https://doi.org/10.1016/j.cag.2014.11.002].
44. Sheldon Dennis Robert. Digital surface representation and the constructability of Gehry's architecture. Thesis (Ph.D.). Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture, 2002. 340 p. [URI http://hdl.handle.net/1721.1/16899].
45. Акулова О.А., Китаевский Е.В., Назарук К.Р. Особенности моделирования бионических геометрических форм// Инновационные технологии в инженерной графике: Проблемы и перспективы: Сб. тр. Межд. научно-практической конференции. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); Брестский государственный технический университет. 2019. С. 7-12. [ISBN 978-5-7795-0884-1].
46. Umorina Z. Application of bionic architecture methods as future-oriented approach of modern architecture development in Russia // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2019. 687 055065. 6 p. [doi:10.1088/1757-899X/687/5/055065].
47. Pakowska Marta. Parametric, generative, evolutionary, organic and bionic architecture – A new look at an old problem. Architecture et Artibus. 2014. № 1. Pp. 42-45.
48. Курбатов Ю.И. Архитектура в контексте среды // Строительство и архитектура Ленинграда. 1977. № 4. С. 28-32.
49. Zvi Hecker. The cube and the dodecahedron in my polyhedric architecture. Leonardo. 1980. Vol. 13. Pp.272-275.

50. Кривошапко С.Н. Многогранники и квазимногогранники в архитектуре гражданских и промышленных сооружений // Строительство и реконструкция. 2020. № 4 (90). С. 48-64 [doi:10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64].
51. Wong, Yunn Chii. The Geodesic Works of Richard Buckminster Fuller, 1948–1968 (The Universe as a Home of Man), PhD thesis, Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, 1999.
52. Bykov Oleksiy, Gubkina Ievgeniia. Soviet Modernism. Brutalism. Post-Modernism Buildings and Structures in Ukraine 1955–1991. DOM Publishers. July 1, 2019. 250 p. [ISBN 978-3-86922-706-1].
53. Лыткин К.А. Элементы ноосферной архитектуры // Архитектура и строительство России. 2013. №1. С. 30-39.
54. Holgate Alan. Aesthetics of thin-walled structures. Thin-Walled Structures. 1990. 9, № 1-4. Pp. 437-457.

Информация об авторах:

Кривошапко Сергей Николаевич

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор-консультант Инженерной академии.
E-mail: sn.krivoshapko@mail.ru

Кристиан А. Бок Хьенг

Сельскохозяйственный и технический государственный университет Северной Каролины, Гринсборо, Северная Каролина, США,
доктор философии, доцент кафедры искусственной среды.
E-mail: hyengbock@hotmail.com

Жиль-улбе Матье

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент департамента строительства Инженерной академии.
E-mail: gil-oulbem@hotmail.com

Information about authors:

Krivoshapko S.N.

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia,
DSc, Professor, Professor-tutor at the Engineering Academy.
E-mail: sn.krivoshapko@mail.ru

Christian A. Bock Hyeng

North Carolina Agricultural and Technical State University, Greensboro, USA,
PhD, Associate Professor of the Department of Built Environment.
E-mail: hyengbock@hotmail.com

Mathieu Gil-oulbé

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Civil Engineering of Engineering Academy.
E-mail: gil-oulbem@hotmail.com